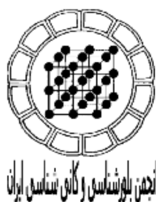
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و سوم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۴، از صفحهٔ ۴۰۳ تا ۴۱۶



سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی منطقه‌های دگرسانی و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه‌ی جنوب‌باختری سرخ کوه، شرق ایران

احمد حسینخانی، محمدحسن کریم‌پور*، آزاده ملک زاده شفارودی

گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۳/۳/۵ ، نسخه نهایی: ۹۳/۶/۵)

چکیده: منطقه‌ی پی‌جویی جنوب باختری سرخ کوه در ۱۲۰ کیلومتری جنوب باختری بیرجند و در بخش باختری بلوک لوت قرار گرفته است. بنابر بررسی‌های زمین‌شناسی، منطقه‌ی مورد نظر از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت و بازالت تشکیل یافته که نفوذ توده‌های نفوذی با ترکیب هورنبلند دیوریت، هورنبلند تونالیت و بیوتیت مونزونیت در آن‌ها موجب دگرسانی وسیع و کانی‌سازی شده است. کانی‌شناسی زون‌های دگرسانی براساس بررسی‌های دورسنجی، صحرایی، سنگ‌نگاری و XRD شامل کلریت، اپیدوت، کربنات، سریسیت، کوارتز، کائولینیت و ناتروآلونیت است که در قالب ۵ زون دگرسانی پروپیلیتیک، آرژیلیک، کربناتی، کوارتز- سریسیت- پیریت و سیلیسی قابل تفکیک‌اند. کانی‌سازی به‌شکل‌های پراکنده، رگچه‌ای و رگه‌ای دیده می‌شود. کانی‌سازی رگه‌ای با راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری در سنگ میزبان هورنبلند دیوریت پورفیری تشکیل شده و عبارتند از کوارتز، کالکوپیریت، پیریت و کانی‌های ثانویه. کانی‌سازی پراکنده و رگچه‌ای نیز شامل کوارتز، پیریت، مگنتیت، کالکوپیریت و کانی‌های ثانویه است که در بیوتیت مونزونیت دگرسان شده و هورنبلند دیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه شامل کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت و گوتیت در منطقه دیده می‌شوند. بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های رودخانه‌ای نشان‌دهنده‌ی دامنه‌ی تغییرات برخی عناصر نظیر مس از ۴۸ تا ۹۲، سرب از ۱۶تا ۲۲ و روی از ۲۷ تا ۱۲۳ گرم درتن است. در ژئوشیمی خرده‌سنگی نیز ناهنجاری مس تا ۵ درصد، آرسنیک تا ۱/۳ درصد، مولیبدن تا ۱۵۰، سرب تا ۳۶۲ و روی تا ۷۴۳ گرم درتن و طلا تا ۲۷۸ میلی‌گرم در تن شناسایی شده‌اند. بیشترین ناهنجاری ژئوشیمیایی در کانی‌سازی نوع رگه‌ای در شمال باختری گستره مشاهده می‌شود. شواهد مختلف سنگ‌شناسی، نوع و گسترش دگرسانی، شکل کانی‌سازی و ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی نشان‌دهنده‌ی کانی‌سازی احتمالی مس پورفیری در منطقه بوده که نیازمند بررسی‌های پی‌جویی تفصیلی است.

واژه‌های کلیدی: *بلوک لوت؛ توده نفوذی؛ کانی‌شناسی؛ دگرسانی؛ مس پورفیری.*

مقدمه

بلوک لوت بخشی از خرد قاره‌ی ایران مرکزی است که بین گسل‌های نهبندان (در خاور)، نایبند (در باختر)، درونه و کلمرد (در شمال) و فرونشست جازموریان (در جنوب) قرار دارد [۱]. زمین‌شناسی این بخش از ایران به‌دلیل دور از دسترس بودن مورد ابهامات بسیاری است، به‌طوری که از زمان مزوزوئیک به بعد به‌عنوان بلوک قاره‌ای مقاوم بوده که از حاشیه گندوانا جدا و به‌سمت شمال حرکت کرده و تشکیل دریای نئوتتیس را داده است [۲-۴] و در اوایل ژوراسیک این قطعه به بخش جنوبی اوراسیا پیوسته است [۲]. سنگ‌های بخش بالایی پوسته

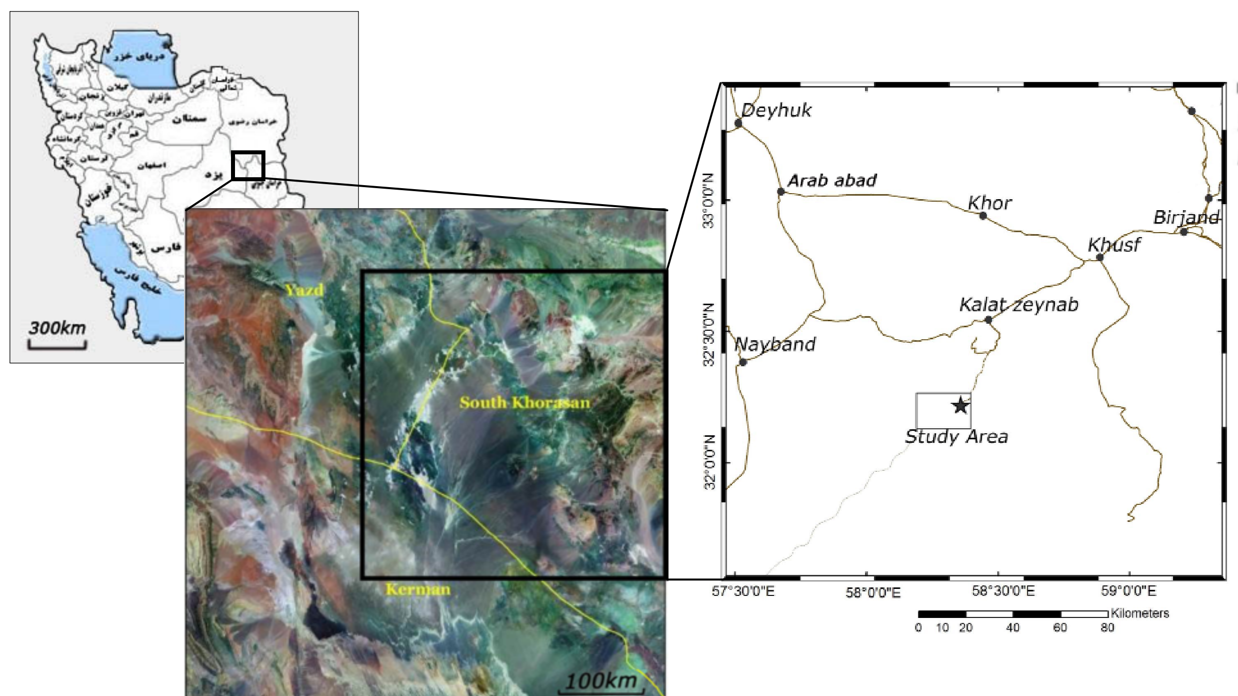
*نویسنده مسئول، تلفن:۰۵۱۳۸۸۰۴۰۵۱، نمابر: ۰۵۱۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: karimpur@um.ac.ir

در بلوک لوت شامل شیل‌های مزوزوئیک و کربنات بوده که با مرزهای گسلی در مجاور افیولیت‌های کرتاسه قرار دارند و پس از آن‌ها سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی‌های سنوزوئیک دیده می‌شوند. این بخش از ایران هم اکنون دستخوش بالاآمدگی نسبی شده که ارتفاع آن بین ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر متغیر است. رسوب‌های ماسه بادی مربوط به کواترنر اغلب بخش‌های بلوک لوت (از جمله بخش جنوبی آن، دشت لوت) را پوشانده است.

فعالیت‌های ماگماتیکی در بلوک لوت گسترده بوده و این فعالیت‌ها به پدیده‌هایی نظیر فرورانش [۶،۵]، شرایط کششی [۷] و حتی فرورانش دوسویه [۸] نسبت داده شده‌اند که دامنه‌ی سنی ژوراسیک تا کواترنری را می‌توان برای آن‌ها در نظر گرفت [۹]. اگرچه نتایج ژئوشیمی، ایزوتوپی، سن‌سنجی و خاستگاه ماگما نظریه فرورانش را تقویت می‌بخشد [۱۰]. همچنین کانی‌سازی‌های مختلف وابسته‌به زون‌های فرورانش در بلوک لوت مانند کانسارهای مس پورفیری (ماهرآباد و خوپیک [۱۱]، ده سلم [۱۲]) و نیز کانسارهای طلای ورا گرمایی (چاه شلجمی [۱۲]، کوه شاه [۱۳]) نیز در بلوک لوت مؤید نظریه‌ی فرورانش هستند. سن تشکیل این کانسارها در بلوک لوت، پنجره‌ی زمانی ۴۲ تا ۳۳ میلیون سال قبل (ائوسن-الیگوسن) را نشان می‌دهد [۱۰].

منطقه‌ی جنوب باختری سرخ کوه در جنوب‌خاوری نقشه‌ی ۱:۲۵۰،۰۰۰ نایبندان [۱۴]، بخش مرکزی برگه‌ی ۱:۱۰۰،۰۰۰ جنوب سه‌چنگی [۱۵] واقع شده است. این منطقه از لحاظ تقسیمات کشوری در استان خراسان جنوبی، جنوب خاوری شهر بیرجند، جنوب شهر خور و نزدیک به مرز سه استان خراسان جنوبی، یزد و کرمان قرار گرفته است که مختصات آن ۱۲′ °۳۲ تا ۱۵′ °۳۲ شمالی و ۱۹′ °۵۸ تا ۲۳′ °۵۸ خاوری است (شکل۱). در منطقه‌ی مورد بررسی به‌دلیل دور از دسترس بودن، بررسی‌های پیشین تنها شامل تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ [۱۵] و بررسی‌های ژئوشیمیایی [۱۶] بوده است.

هدف از این پژوهش بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی زون‌های دگرسانی بر اساس بررسی‌های سنجش از دور و بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی و XRD، کانی‌سازی بر مبنای بررسی‌های صحرایی و مقاطع صیقلی، و بررسی‌های ژئوشیمیایی بر مبنای آنالیز نمونه‌های آبراهه‌ای و خرده‌سنگی برای اولین بار است. برمبنای این بررسی‌ها نقشه‌ی زمین- شناسی با تأکید بر توده‌های عقیم و بارور، نقشه‌ی دگرسانی به همراه گسترش و نوع دگرسانی، نقشه‌ی کانی‌سازی و نقشه‌های ژئوشیمیایی تهیه و سرانجام مدل احتمالی کانی‌سازی تعیین شد.



شکل ۱ راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی گستره‌ی مورد بررسی.

روش بررسی

۱ـ پردازش تصویر سنجنده استر منطقه با روش نقشه برداری زاویه طیفی جهت شناسایی کانی‌های دگرسانی.

۲ـ بازدید صحرایی، نمونه‌برداری و تهیه و بررسی ۱۲۰ مقطع نازک جهت بررسی‌های سنگ‌نگاری، کانی‌های زون‌های دگرسانی و تهیه نقشه زمین‌شناسی و نقشه دگرسانی.

۳ـ انجام ۳ آنالیز XRD در شرکت کانساران بینالود جهت شناسایی کانی‌های رسی در زون دگرسانی آرژیلیک که در این روش ابتدا نمونه اسیدشویی شده و در دستگاه التراسنیک قرار می‌گیرد. سپس نمونه روی دو لام اشباع شده با کلرید منیزیم به‌عنوان پلاک نرمال و لام دیگر به‌عنوان پلاک اشباع با پتاسیم تقسیم شده و پس از خشک شدن وارد دستگاه XRD شده و طیف‌گیری صورت می‌گیرد.

۴ـ تهیه و بررسی ۳۰ مقطع صیقلی برای بررسی‌های کانه‌نگاری و تهیه‌ی نقشه کانی‌سازی.

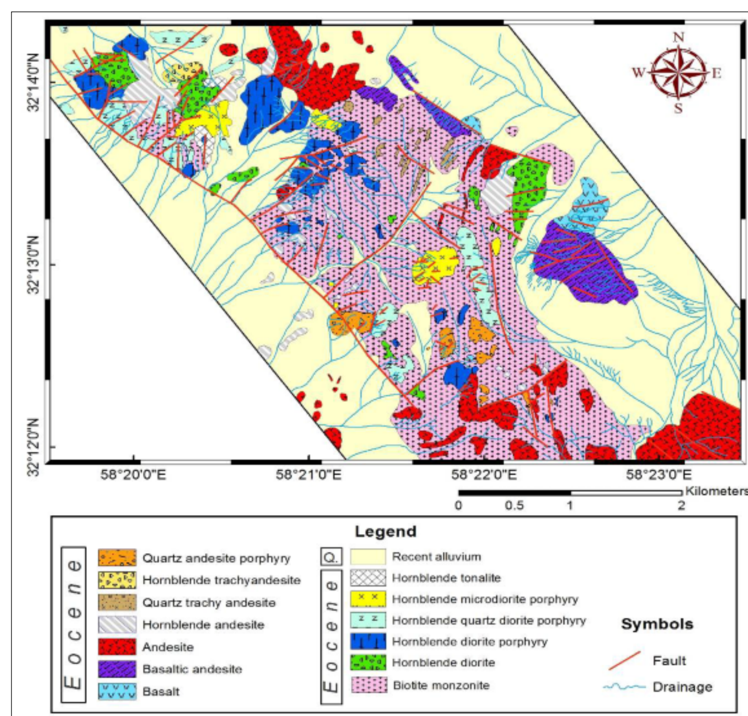
۵ـ آنالیز ۲۵ نمونه به‌روش خرده‌سنگی برای بررسی‌های ژئوشیمیایی به‌روش ICP-OES و طلا با روش جذب اتمی (روش آماده‌سازی Fire Assay) در شرکت زرآزما و تهیه نقشه‌های ژئوشیمیایی عناصر مهم.

۶ـ استفاده از نتایج آنالیز ۱۰ نمونه رسوب آبراهه‌ای به روش XRF و برای عناصر W، Mo و Au با روش اسپکتروگراف نشری به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی [۱۶].

۷ـ تجزیه و تحلیل اطلاعات و نتایج حاصل و بررسی رخداد کانی‌سازی احتمالی در منطقه.

زمین‌شناسی

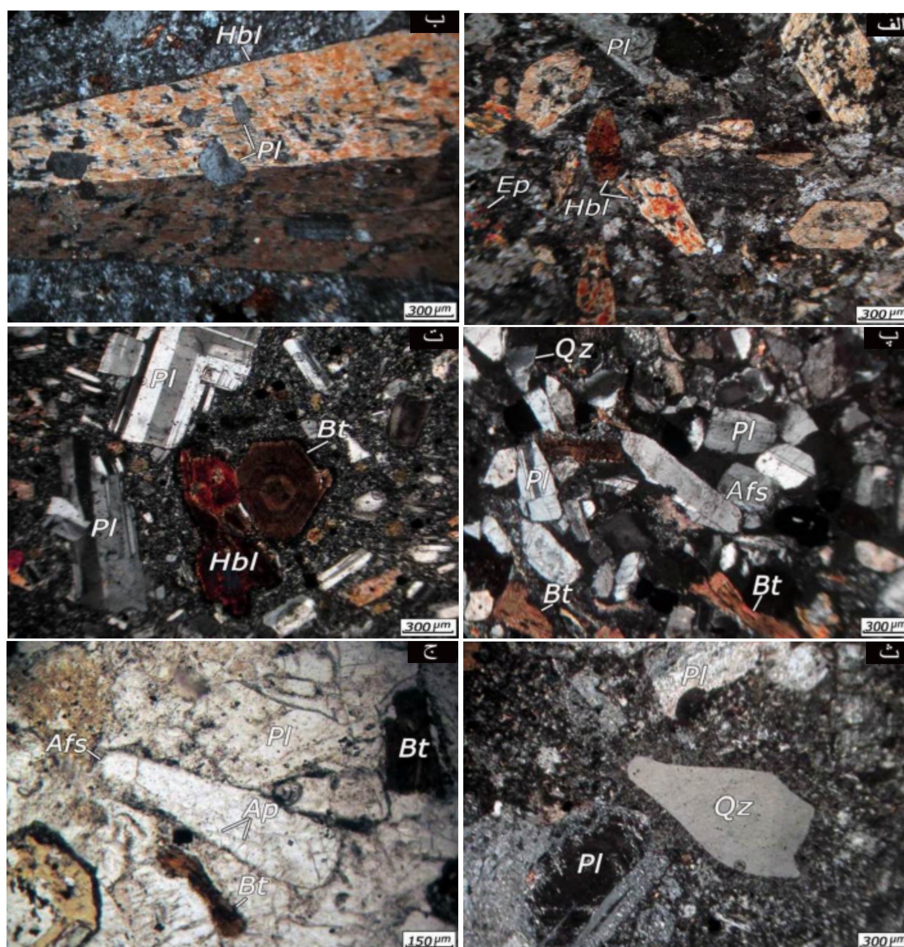
از نظر زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی در نقشه‌ی زمین‌شناسی جنوب سه‌چنگی [۱۵] واقع شده است و واحدهای رخنمون یافته در منطقه شامل آندزیت (Eoa)، واحد لاتیت و سنگ‌های آذرآواری (Ela)، واحد کوارتز میکرودیوریت (dp) و واحد دگرسانی آرژیلیکی (Ap) حاصل از نفوذ توده‌ی میکرودیوریت هستند. سن نسبی این واحدها ائوسن است [۱۵]. براساس بررسی‌های صحرایی- آزمایشگاهی انجام شده، ترکیب سنگ‌شناسی رخنمون‌های موجود در منطقه به سه دسته سنگ‌های آتشفشانی، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و عمیق قابل تقسیم است (شکل ۲). سنگ‌های بیرونی شامل بازالت، آندزیت بازالتی، آندزیت، هورنبلند آندزیت، هورنبلند تراکی آندزیت، کوارتز تراکی‌آندزیت، کوارتز آندزیت پورفیری و بلور توف هستند. کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن و گاهی هورنبلند در انواع بازی این سنگ‌ها دیده شده و بافت غالب پورفیری است. دگرسانی در این واحدها ضعیف و شامل کربناتی و پروپیلیتیک است. گسترش این واحدها در بخش‌های شمالی و جنوبی نقشه‌ی زمین‌شناسی بیشتر است (شکل ۲).



شکل ۲ نقشه‌ی زمین‌شناسی تهیه شده از گستره‌ی مورد بررسی.

توده‌های نیمه عمیق و عمیق شامل هورنبلند دیوریت، هورنبلند دیوریت پورفیری، هورنبلند میکرودیوریت پورفیری، بیوتیت مونزونیت، هورنبلند کوارتز دیوریت پورفیری، هورنبلند تونالیت و میکرودیاباز هستند. بیوتیت مونزونیت با بافت دانه‌ای و متشکل از کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، کوارتز و بیوتیت (شکل ۳-پ) تنها در بخش خاوری نقشه‌ی زمین‌شناسی رخنمون‌های فاقد دگرسانی داشته و در اغلب بخش‌های نقشه دگرسان شده است. برخلاف نقشه‌ی جنوب سه چنگی، نفوذ این توده باعث دگرسانی وسیع به‌ویژه دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت در منطقه شده است. در مراحل بعدی فرایندهای هوازدگی باعث تشکیل دگرسانی آرژیلیک سطحی زاد روی دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت شده است.

چنین به‌نظر می‌رسد که خاستگاه کانی‌سازی در منطقه نیز توده‌ی بیوتیت مونزونیت است. در مرکز منطقه‌ی دگرسانی وسیع در باقیمانده‌های توده‌های عمیق و نیمه عمیق با ترکیب هورنبلند دیوریت (شکل ۳-الف)، هورنبلند میکرودیوریت، هورنبلند کوارتزدیوریت (شکل ۳-ت) تا هورنبلند تونالیت (شکل ۳-ث) دیده می‌شوند که در بخش‌های شمالی منطقه کانی‌سازی پراکنده دانه، نیز در آن‌ها دیده می‌شود. بافت این سنگ‌ها دانه‌ای، میکرولیتی، پوئی‌کیلیتیک (شکل ۳-ب) و غربالی است. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و گاهی بیوتیت و کوارتز (شکل ۳) و کانی‌های فرعی بیشتر آپاتیت (شکل ۳-ج) است.



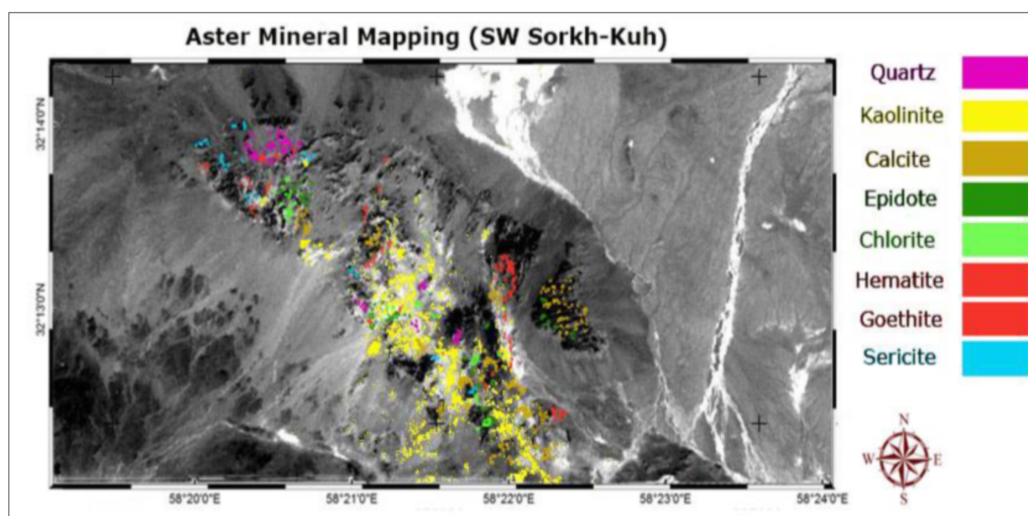
شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی توده‌های نفوذی و نیمه‌عمیق منطقه مورد بررسی؛ الف) کانی‌های هورنبلند و پلاژیوکلاز که کانی‌های اصلی تشکیل دهنده هورنبلند دیوریت هستند. ب) فنوکریست هورنبلند در سنگ هورنبلند میکرودیوریت پورفیری با بافت پوئی‌کیلیتیک که بلورهای ریز پلاژیوکلاز را دربرگرفته است. پ) بیوتیت مونزونیت متشکل از پلاژیوکلاز، فلدسپات قلیایی، بیوتیت و کوارتز با بافت دانه‌ای. ت) کانی بیوتیت دارای منطقه‌بندی نوسانی به‌همراه هورنبلند و پلاژیوکلاز در هورنبلند کوارتز دیوریت پورفیری. ث) فنوکریست کوارتز و پلاژیوکلاز در سنگ تونالیت پورفیری. ج) کانی فرعی آپاتیت به‌شکل سوزنی درون فلدسپات قلیایی در سنگ بیوتیت مونزونیت. (Pl=پلاژیوکلاز، Hbl= هورنبلند، Afs= فلدسپات قلیایی، Bt= بیوتیت، Qz= کوارتز، Ap= آپاتیت) (علائم اختصاری کانی‌ها از [۲۰]).

دگرسانی و کانی‌شناسی زون‌های دگرسانی

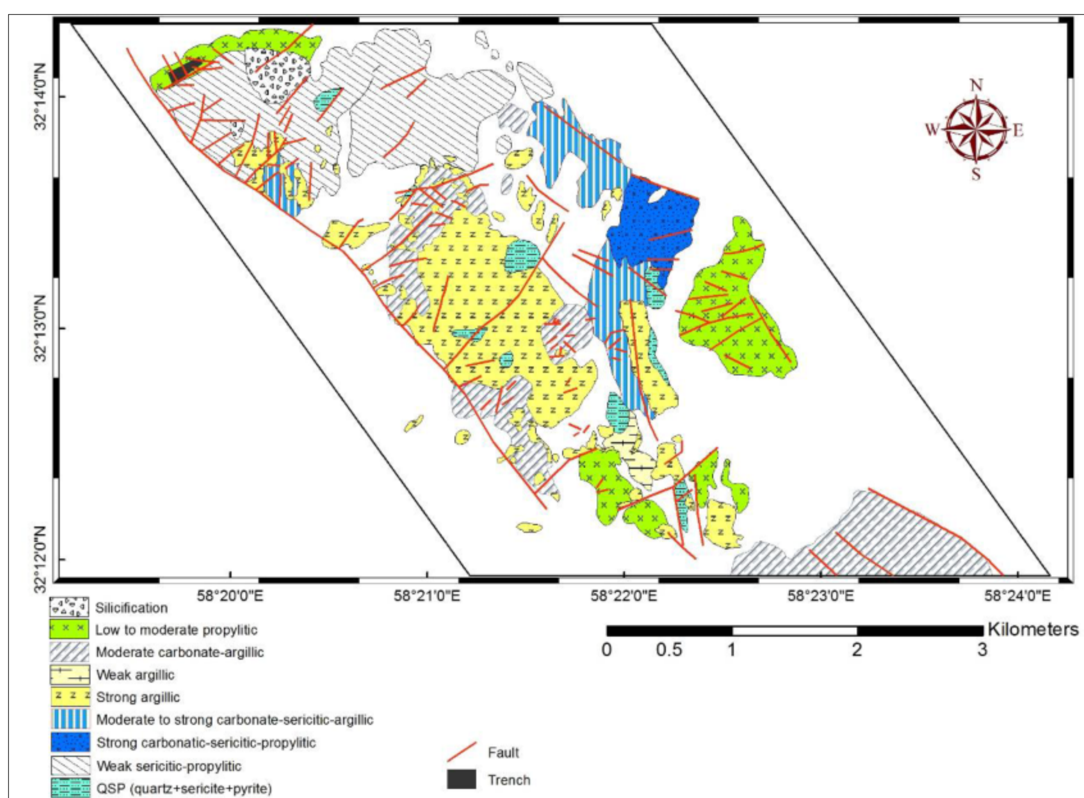
الف) پردازش تصویر سنجنده استر: در پردازش تصویر سنجنده‌ی استر روش نقشه‌برداری زاویه‌ی طیفی (SAM) به کار گرفته شد. نقشه‌برداری زاویه طیفی روشی بسیار مفید بوده که در آن طیف تصاویر با طیفی استاندارد مقایسه می‌شوند. یک تصویر چند طیفی، مجموعه‌ای از تصاویر نواری است که هر پیکسل تصویر دربردارنده‌ی طیفی از مقادیر بازتاب برای تمامی طول موج‌های تصویر است به‌طوری که اگر جسمی (نظیر سنگ، گیاه و ...) تمام یک پیکسل را اشغال کند طیف آن پیکسل به‌عنوان طیف عضو انتهایی (کانی مرجع) آن جسم در نظر گرفته می‌شود. به ازای هر عضو انتهایی انتخاب شده، یک زاویه‌ی طیفی برای هر پیکسل در تصویر در نظر گرفته شده و این زاویه در نقشه‌ی زاویه طیفی به عنوان نماینده آن پیکسل در نظر گرفته می‌شود [۱۷]. در این روش همچنین از اطلاعات پردازش روش‌های رووان و همکاران [۱۸] و هوبارد و همکاران [۱۹] نیز استفاده شد.

به‌طور کلی شناسایی و نقشه‌برداری واحدهای سنگی با بررسی طیفی زیرسامانه‌های VNIR و SWIR تصاویر سنجنده استر نیازمند ۱) انتخاب طیف بازتاب معرف کانی‌شناختی برای مرجع بررسی و ۲) اجرای الگوریتم بررسی طیفی ارزیابی میزان همخوانی هر طیف پیکسلی با طیف مرجع است [۱۸]. در پردازش زیرسامانه‌های VNIR و SWIR، کائولینیت، کلسیت، کلریت، اپیدوت، سریسیت، کوارتز، هماتیت و گوتیت وابسته به سازمان زمین‌شناسی آمریکا به‌عنوان طیف مرجع در نظر گرفته شدند که پس از تصحیح هندسی تصویر سنجنده استر، کانی‌های یاد شده بازسازی (شکل ۴) و در تهیه‌ی نقشه‌ی دگرسانی منطقه به‌کار گرفته شدند (شکل ۵). نتایج حاصل از پردازش سنجنده تصویر استر بیانگر آن است که آشکارسازی کانی‌های رسی، کوارتز و اکسیدهای آهن و به‌طور کلی دگرسانی آرژیلیک و سیلیسی در منطقه جنوب باختری سرخ کوه همخوانی بسیار خوبی با مشاهدات صحرایی و بررسی‌های سنگ‌شناسی نشان می‌دهد.

ب) بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری: به‌طور کلی بر مبنای بررسی‌های انجام شده ۵ منطقه‌ی دگرسانی اصلی شامل کربناتی، پروپیلیتیک، آرژیلیک، کوارتز- سریسیت- پیریت و سیلیسی و ۹ زیرمجموعه این دگرسانی‌ها (شکل ۵) تفکیک شدند. چنانکه قبلاً اشاره شد در منطقه‌ی مورد بررسی توده‌ی نفوذی با ترکیب بیوتیت مونزونیت عامل دگرسانی وسیع و نیز کانی‌سازی در منطقه شده است. بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و XRD در گستره نشان می‌دهد دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت در تمامی منطقه در توده‌ی بیوتیت مونزونیت دیده می‌شود و تمام این توده را تحت تأثیر قرار داده است که بیش از ۵۰ درصد آن را کوارتز تشکیل می‌دهد. کانی سریسیت حاصل از دگرسانی پلاژیوکلاز (شکل ۶-پ) و اکسیدهای آهن حاصل از اکسیدشدگی پیریت دیگر کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این دگرسانی هستند. بیش از ۷۰ درصد منطقه‌ی دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت در اثر هوازدگی شدید به دگرسانی آرژیلیک سطحی زاد تبدیل شده است. بنابراین دگرسانی آرژیلیک سطحی زاد و متشکل از کانی‌های رسی، برجسته‌ترین سیمای دگرسانی در منطقه به ویژه در بخش‌های مرکزی بود که از هوازدگی منطقه‌ی دگرسانی سریسیتی حاصل از توده بیوتیت مونزونیت تشکیل شده است. بررسی‌های XRD دو کانی کائولینیت و ناتروآلونیت را در این زون دگرسانی نشان می‌دهند. همچنین کانی‌های تبخیری نظیر هالیت و انیدریت نیز به فراوانی در سطح حضور دارند.



شکل ۴ بازسازی کانی‌های دگرسان در تصویر سنجنده استر در منطقه‌ی مورد بررسی با روش SAM.



شکل ۵ نقشه‌ی دگرسانی تهیه شده از منطقه‌ی مورد بررسی.

دگرسانی‌های پروپیلیتیک و کربناتی به‌صورت پراکنده در نقشه دیده می‌شوند و توده‌های نفوذی هورنبلند دیوریت و سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب غالب آندزیت را تحت تأثیر قرار داده‌اند. دگرسانی پروپیلیتیک اغلب حاصل تبدیل شدن کانی هورنبلند به کلریت و اپیدوت بوده (شکل ۶-الف) و کربناتی-شدن بیشتر در کانی‌های هورنبلند (شکل ۶-ب) و پلاژیوکلاز رخ داده است. فراوانی دو کانی اپیدوت و کلریت حدود ۵ درصد است. سیلیسی شدن نیز به‌صورت تشکیل کوارتز (بیش از ۹۰ درصد) در بخش‌های مرکزی و شمال منطقه دیده می‌شود که تمام خمیره‌ی سنگ سیلیسی شده است. همچنین گاهی نسل-های جدیدتر کوارتز به‌صورت رگچه‌ای زمینه سیلیسی را قطع کرده است. کمترین شدت دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی بازالت و آندزیت بازالتی دیده شد.

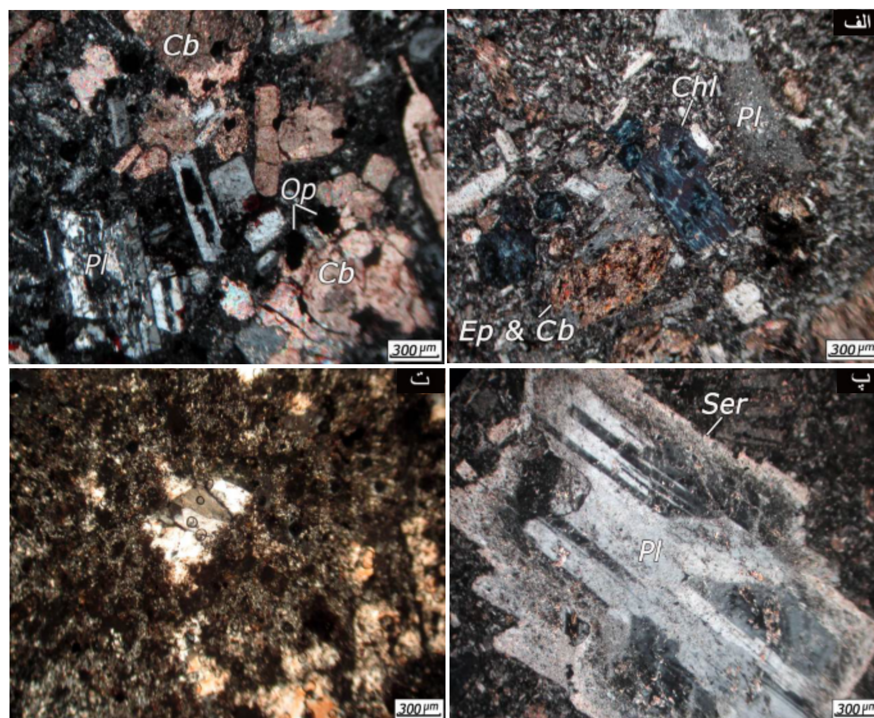
کانی‌سازی

کانی‌سازی در منطقه به سه شکل پراکنده، رگچه‌ای و رگه‌ای دیده شدند (شکل ۷). کانی‌سازی پراکنده دانه بیشتر شامل پیریت است. پیریت با فراوانی ۳-۲ درصد و اندازه متوسط ۳۰۰ میکرون به همراه دگرسانی سیلیسی در بخش شمالی منطقه در توده هورنبلند دیوریت پورفیری دیده شد.

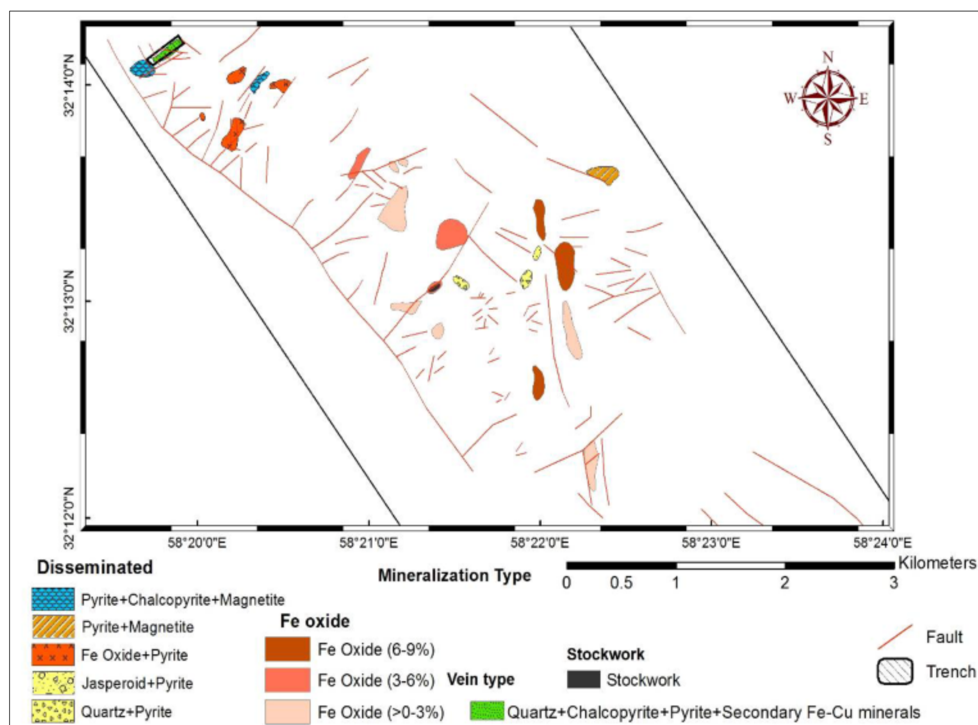
پیریت با فراوانی کمتر (حدود ۱ درصد) در بخش‌های مرکزی گستره به‌همراه اکسیدهای آهن و دگرسانی کوارتز-سریسیت- پیریت در توده بیوتیت مونزونیت نیز تشکیل شده است.

پیریت نیز به صورت پراکنده (با فراوانی ۴-۳ درصد) گاهی در سنگ هورنبلند دیوریت و هورنبلند میکرودیوریت پورفیری دارای دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت و کربناتی به همراه مگنتیت (۲درصد) و کالکوپیریت (۳-۲درصد) (شکل ۸-پ) مشاهده شدند. کانی‌سازی پراکنده دانه مرحله‌ی اول کانی‌سازی در منطقه بوده که کانی‌های پیریت، مگنتیت و کالکوپیریت به صورت همرشدی و گاهی پراکنده دانه در سنگ میزبان جایگزین شده‌اند.

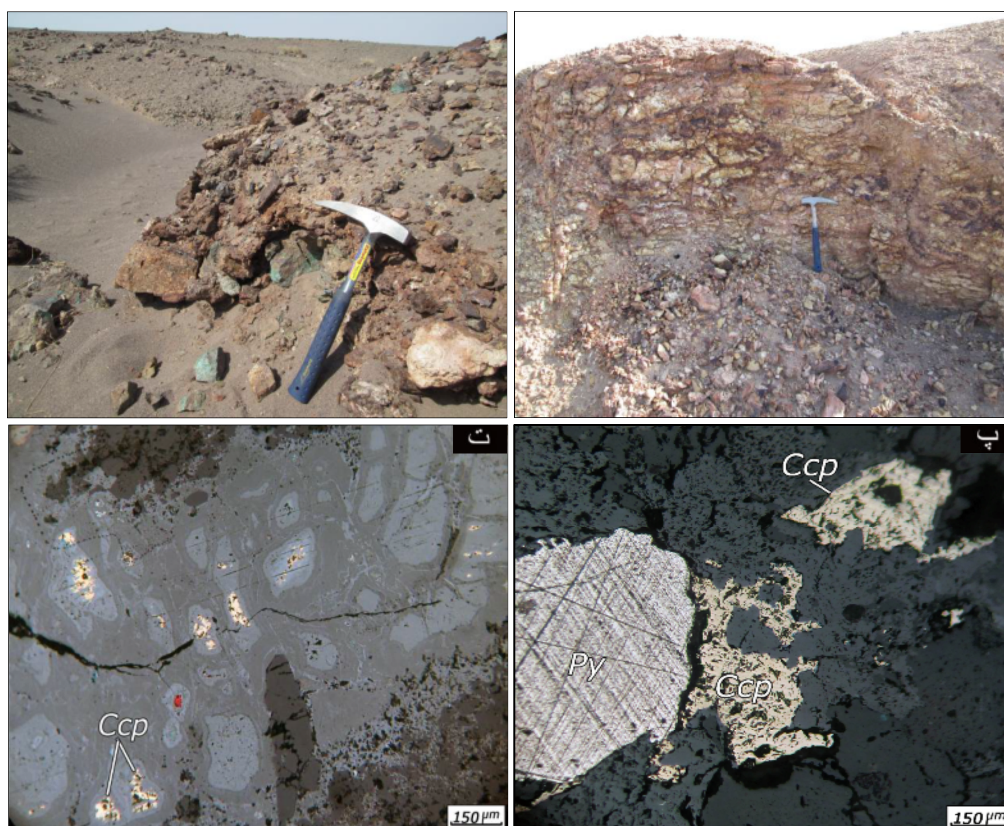
کانی‌سازی رگچه‌ای در مقیاس کوچک و فقط در بخش‌های مرکزی منطقه دیده شد که متشکل از رگچه‌های کوارتز-اکسید آهن (هماتیت+ گوتیت+لیمونیت) همراه با دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت در توده‌ی بیوتیت مونزونیت است (شکل ۸-الف). تراکم رگچه‌ها تا ۱۲ رگچه در مترمربع رسیده و ضخامت آن‌ها ۵-۲ سانتی‌متر است. این مرحله از کانی‌سازی احتمالاً کمی پس از کانی‌سازی پراکنده دانه طی اکسیدی شدن سولفیدهای اولیه تشکیل شده است.



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی‌های اصلی در توده‌های نفوذی منطقه‌ی مورد بررسی؛ الف) دگرسانی پروپیلیتیک به شکل تشکیل کانی‌های اپیدوت و کلریت به‌همراه کربنات در هورنبلند میکرودیوریت پورفیری. ب) کربناتی شدن شدید کانی هورنبلند در توده‌ی نفوذی هورنبلند دیوریت. پ) سریسیتی شدن کانی پلاژیوکلاز از حاشیه در سنگ هورنبلند دیوریت پورفیری. ت) دگرسانی شدید کوارتز- سریسیت- پیریت - آرژیلیک-کربناتی در توده نفوذی بیوتیت مونزونیت. (Cb= کانی‌های کربناتی، Chl= کلریت، Ep= اپیدوت، Op= کانی کدر) (علائم اختصاری کانی‌ها از [۲۰]).



شکل ۷ نقشه‌ی کانی‌سازی تهیه شده از منطقه‌ی مورد بررسی.



شکل ۸ تصاویر کانی‌سازی در منطقه جنوب باختری سرخ کوه؛ الف) کانی‌سازی رگچه‌ای متشکل از رگچه‌های کوارتز به‌همراه اکسیدهای آهن در توده‌ی بیوتیت مونزونیت دارای دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت (دید به‌سمت جنوب). ب) کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه متشکل از مالاکیت و اکسیدهای آهن (دید به سمت جنوب باختری). پ) همرشدی پیریت و کالکوپیریت در مناطق دارای کانی‌سازی پراکنده و در توده‌ی نیمه‌عمیق هورنبلند میکرودیوریت پورفیری. ت) رگچه سولفیدی اولیه وابسته به کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه و متشکل از کانی کالکوپیریت که به اکسیدهای آهن تبدیل شده و تنها بخش‌هایی از کالکوپیریت باقی مانده است. (Py= پیریت، Ccp= کالکوپیریت) (علائم اختصاری کانی‌ها از [۲۰]).

کانی‌سازی رگه‌ای در بخش‌های شمال باختری منطقه به‌صورت رگه‌ای با طول بیش از ۲۰۰ متر و ضخامت حدود ۲ متر در سنگ میزبان هورنبلند دیوریت پورفیری رخ داده است (شکل ۸-ب). روند این رگه شمال‌باختری-جنوب خاوری بوده و شیب آن قابل تشخیص نیست. دگرسانی اطراف رگه‌ی کوارتز-سریسیت-پیریت، کربناتی و پروپیلیتیک است. کوارتز با فراوانی حدود ۲۰ درصد به‌همراه پیریت (۲ درصد)، کالکوپیریت (کمتر از ۱درصد)، اکسیدهای آهن و کانی‌های ثانویه مس نظیر کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت کانی‌سازی رگه را تشکیل می‌دهند (شکل ۸-ت). این مرحله از کانی‌سازی پس از کانی‌سازی پراکنده دانه در منطقه رخ داد که ابتدا با تشکیل کوارتز، پیریت و کالکوپیریت همراه بوده است. کانی‌های ثانویه مس و اکسیدهای آهن در مراحل بعدی تشکیل شده‌اند.

زون‌های گوسان در منطقه متشکل از اکسیدهای آهن حاصل از اکسیدشدگی سولفیدهای اولیه هستند و این مناطق به‌دلیل اینکه در اغلب کانسارها راهنمای اکتشافی مناسب هستند، در نقشه‌ی کانی‌سازی مشخص شده که بیشتر در قالب کانی‌های گوتیت، هماتیت، لیمونیت در بخش‌های مرکزی نقشه کانی‌سازی به‌همراه دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت در توده بیوتیت مونزونیت و بر مبنای میزان فراوانی اکسیدهای آهن تفکیک شدند (شکل ۷).

پی‌جویی ژئوشیمیایی

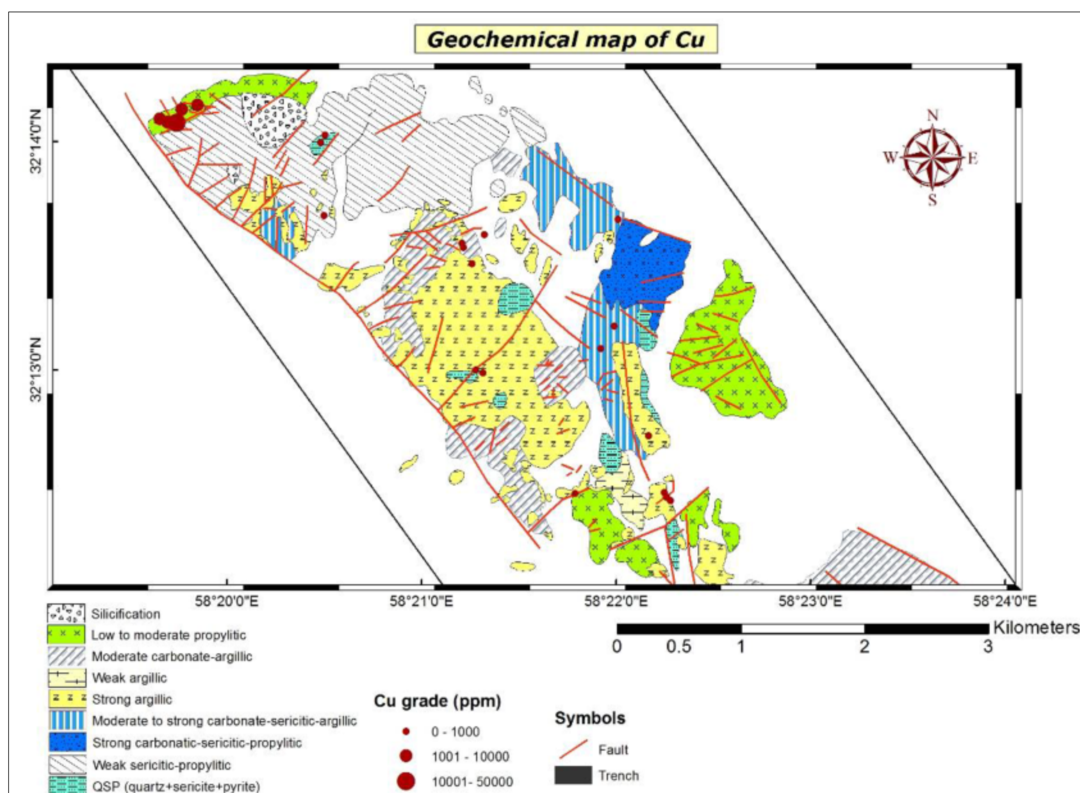
رسوب‌های آبراهه‌ای: بررسی‌های ژئوشیمیایی در ورقه جنوب سه‌چنگی با نمونه‌های برداشت شده از رسوب‌های آبراهه‌ای به‌وسیله سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور انجام گرفته است [۱۶]. از بین این نمونه‌ها، روی تعداد ۱۰ نمونه در

محل آبراهه‌های موجود در منطقه مطالعاتی، صورت گرفته است که در آن‌ها مقادیر عناصر با اهمیت نظیر مس از ۴۸ تا ۹۲ گرم در تن متغیر است. عیار بالای مس مربوط به دو آبراهه، یکی بخش‌های شمالی منشعب شده از کانی‌سازی رگه‌ای و دیگری آبراهه‌ی بخش‌های مرکزی جدا شده از توده‌ی بیوتیت مونزونیت دارای دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت و آرژیلیک است. عیار طلا در رسوب‌های آبراهه‌ای اغلب همبستگی مثبت با مس داشته که مقدار آن از ۱ تا ۱/۸ میلی‌گرم در تن متغیر بود که نسبتاً ناچیز است. مقدار عنصر سرب بین ۱۶ تا ۲۲ گرم در تن در رسوب‌های آبراهه‌ای متغیر بوده و عیارهای بالاتر مربوط به بخش خاوری و باختری منطقه است و این آبراهه‌ها از توده‌ی بیوتیت مونزونیت دارای دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت منشعب می‌شوند. عنصر روی نیز بین ۲۷ تا ۱۲۳ گرم در تن در رسوب‌های آبراهه‌ای تغییر می‌کند و عیارهای بالای آن به بخش باختری منطقه مشابه سرب و بخش‌های شمالی منطقه مشابه مس از نظر سنگ میزبان و دگرسانی مربوطند. عنصر مولیبدن نیز دارای بیشینه عیار ۳ گرم در تن در رسوب‌های آبراهه‌ای است. به‌طور کلی نتایج ژئوشیمی آبراهه‌ای همخوانی خوبی با کانی‌سازی در منطقه نشان می‌دهد.

نمونه برداری خرده سنگی

نمونه‌برداری از واحدهای سنگی برای بررسی‌های ژئوشیمیایی با توجه به بررسی‌های اولیه زمین‌شناسی و دگرسانی در منطقه و با هدف پی‌جویی عنصر مس و عناصر همراه (نظیر مولیبدن، طلا، آرسنیک، آنتیموان، سرب، روی و نقره) در گستره‌ای به وسعت ۲۰ کیلومتر مربع انجام گرفت. به‌طور کلی نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی در گستره‌ی جنوب باختری سرخ‌کوه بی‌هنجاری عناصر زیر را نشان می‌دهد؛

مس: عیار این عنصر بین ۷ گرم در تن تا ۵ درصد در نمونه‌های خرده‌سنگی متغیر است. بیشترین مقدار این عنصر مربوط به بخش‌های دارای کانی‌سازی رگه‌ای و به دگرسانی پروپیلیتیک وابسته است (شکل ۹). چنانکه قبلا اشاره شد سنگ میزبان کانی‌سازی رگه‌ای هورنبلند دیوریت پورفیری است. در منطقه‌های دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت نیز گاهی در محل گسل‌ها بی‌هنجاری مس دیده شد.



شکل ۹ نقشه‌ی ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر مس روی نقشه‌ی دگرسانی در گستره‌ی مورد بررسی.

مولیبدن: عنصر مولیبدن از مقادیر ۱ تا۱۵۰ گرم در تن متغیر است. عیارهای بالای این عنصر در بخش شمال و جنوب نقشه دیده می‌شود (شکل ۱۰). در بخش‌های شمالی کانی‌سازی مولیبدن به‌همراه مس به‌صورت رگه‌ای است. در بخش‌های با کانی‌سازی پراکنده در بخش‌های جنوب و مرکزی نقشه نیز این عنصر در توده بیوتیت مونزونیت دارای دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت و آرژیلیک دارای بی‌هنجاری است.

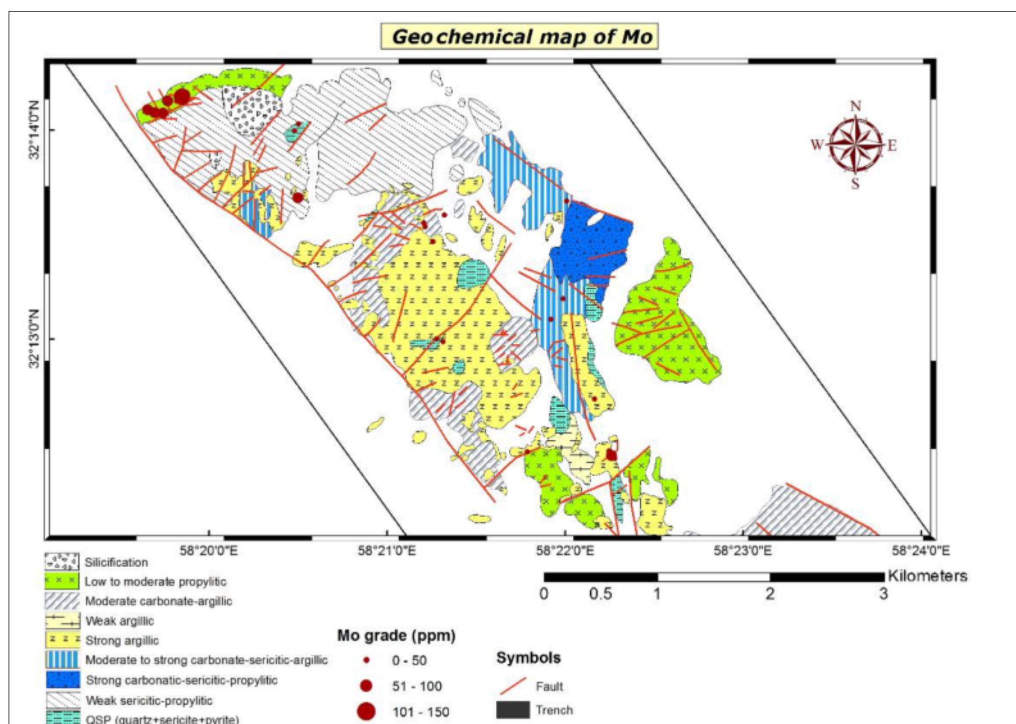
طلا: از مقادیر ۵ تا ۲۷۸ میلی‌گرم در تن متغیر است (شکل ۱۱). مقادیر بالای این عنصر مربوط به کانی‌سازی رگه‌ای است. طلا در مناطق دارای کانی‌سازی پراکنده و به خصوص در زون‌های گوسان تا مقادیر ۳۰ میلی‌گرم درتن در توده‌ی بیوتیت مونزونیت دارای دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت نیز اندازه-گیری شده است.

آرسنیک: عنصر As تقریباً در اغلب نمونه‌های برداشت شده بی‌هنجاری نشان می‌دهد. مقدار این عنصر از ۳ گرم در تن تا بیش از ۱ درصد متغیر است (شکل ۱۲). در بخش‌های با کانی-سازی پراکنده، در زون‌های گوسان و دگرسانی‌های آرژیلیک (در توده‌ی بیوتیت مونزونیت) و کوارتز- سریسیت- پیریت (در هورنبلند دیوریت پورفیری) تا ۱۵۰ گرم در تن نیز اندازه‌گیری شد. در رگه‌ی با کانی‌سازی نیز مقدار آن از ۰/۱ تا بیش از ۱ درصد متغیر است. As در مناطق کانی‌سازی رگچه‌ای در بیوتیت مونزونیت دارای دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت نیز تا ۸۸ گرم درتن اندازه‌گیری شد.

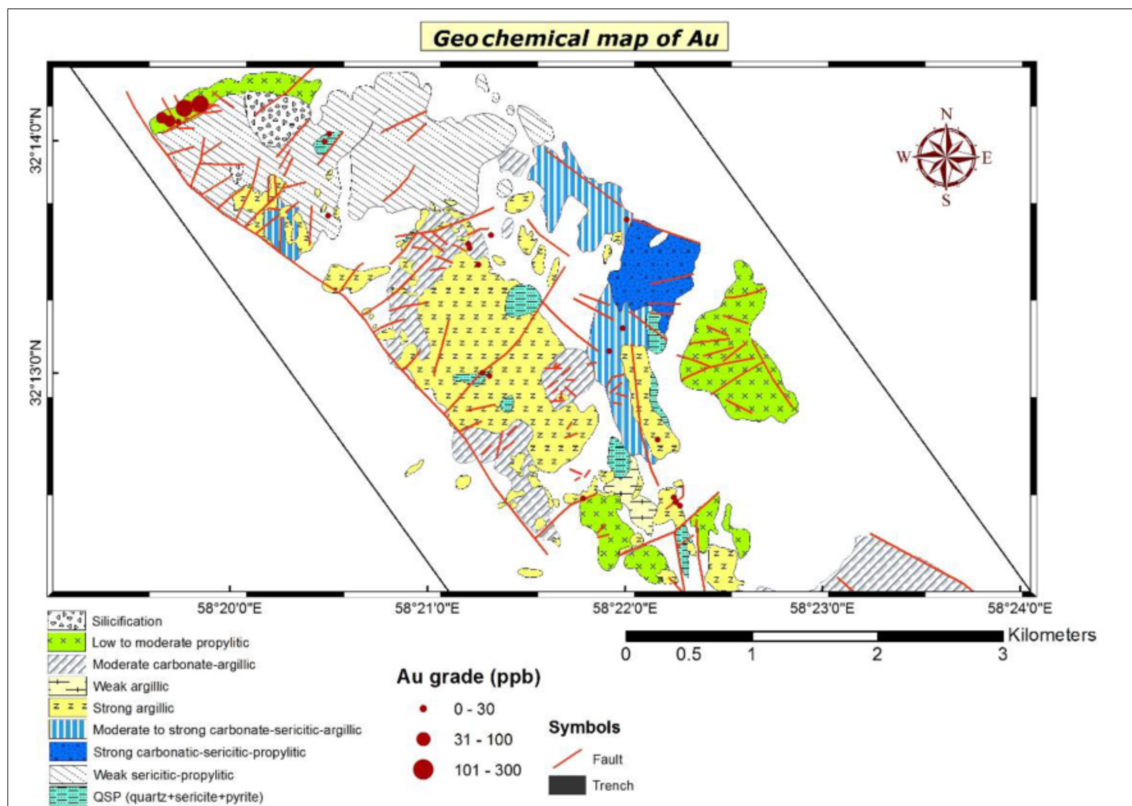
سرب: عیار این عنصر بین ۴ تا ۳۶۲ گرم درتن متغیر است (شکل ۱۳). بی‌هنجاری‌های سرب در کانی‌سازی رگه‌ای و پراکنده دانه مشخص شده و بیشترین عیار مربوط به کانی‌سازی رگه‌ای است. در کانی‌سازی پراکنده دانه نیز در توده‌ی هورنبلند میکرودیوریت پورفیری دارای دگرسانی پروپیلیتیک و کوارتز- سریسیت- پیریت مقدار بیشینه ۱۸۰ گرم درتن سرب اندازه-گیری شد.

روی: در اغلب بخش‌های منطقه با سرب همبستگی مثبت نشان می‌دهد و مقدار این عنصر از ۷ تا ۷۴۳ گرم درتن تغییر می‌کند (شکل ۱۴). عیارهای بالای این عنصر مشابه عناصر دیگر مربوط به کانی‌سازی رگه‌ای است. در بخش‌های با کانی‌سازی پراکنده دانه نیز مشابه سرب در توده هورنبلند میکرودیوریت پورفیری دارای دگرسانی پروپیلیتیک و کوارتز- سریسیت- پیریت مقدار بیشینه ۱۴۶ گرم درتن روی اندازه‌گیری شد.

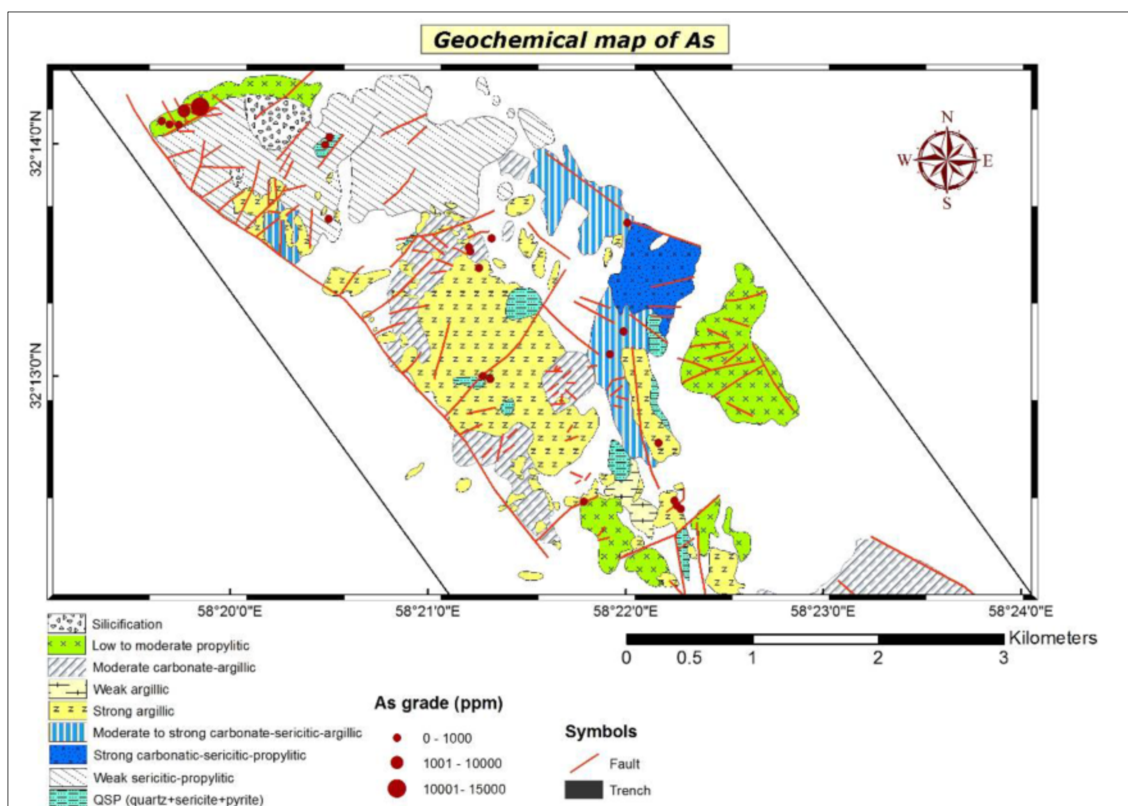
عناصر نقره و آنتیموان نیز در منطقه دارای بی‌هنجاری قابل توجهی نیستند. به‌عنوان مثال عنصر نقره از ۰/۱ تا ۶ گرم درتن متغیر است و آنتیموان نیز بی‌هنجاری چندانی نشان نمی‌دهد و تنها در یک نمونه وابسته به کانی‌سازی رگه‌ای عیار ۷۵ گرم درتن دارد.



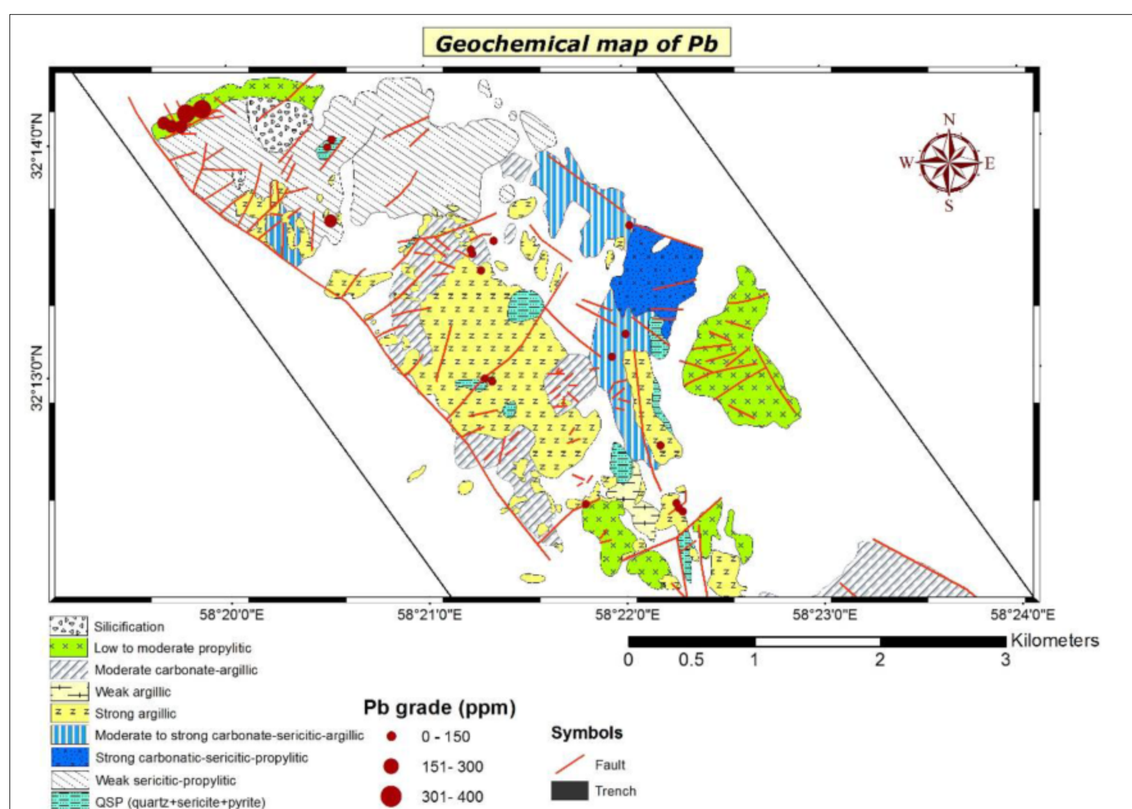
شکل ۱۰ نقشه‌ی ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر مولیبدن روی نقشه دگرسانی در گستره مورد بررسی.



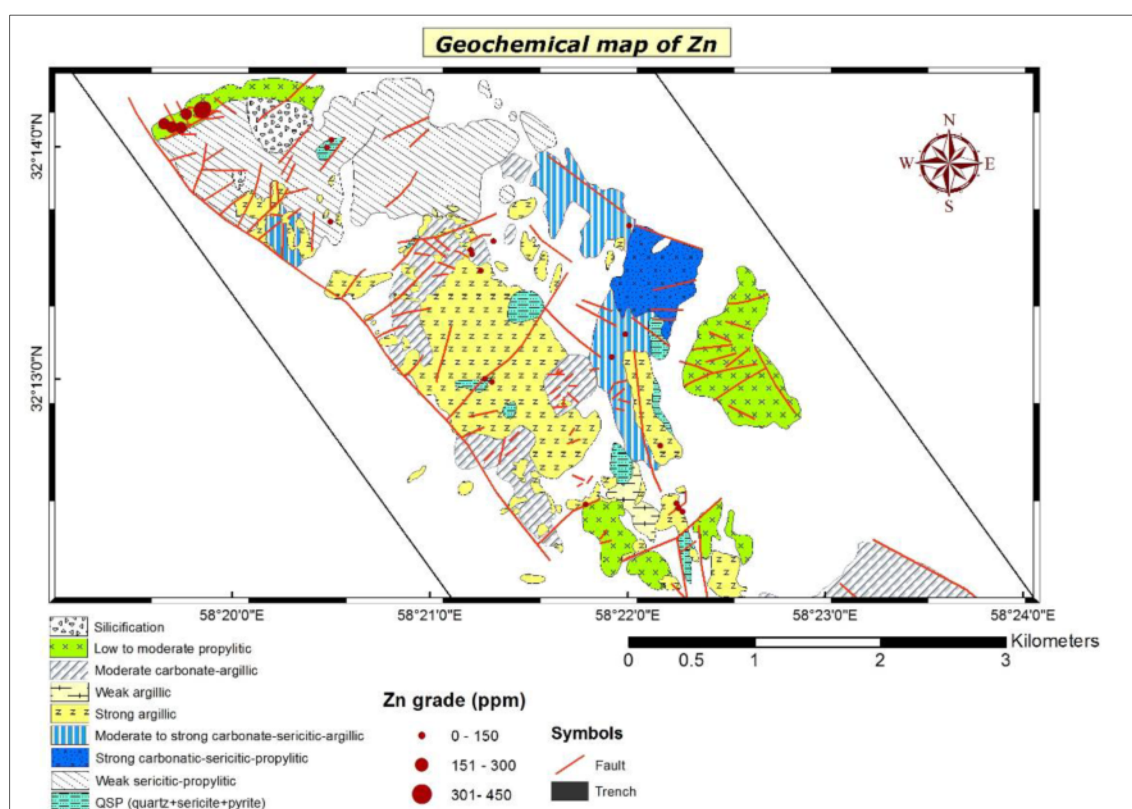
شکل ۱۱ نقشه‌ی ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر طلا بر روی نقشه دگرسانی در گستره‌ی مورد بررسی.



شکل ۱۲ نقشه‌ی ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر آرسنیک روی نقشه‌ی دگرسانی در گستره‌ی مورد بررسی.



شکل ۱۳ نقشه‌ی ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر سرب روی نقشه‌ی دگرسانی در گستره‌ی مورد بررسی.



شکل ۱۴ نقشه‌ی ژئوشیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی عنصر روی روی نقشه‌ی دگرسانی در گستره‌ی مورد بررسی.

برداشت

منطقه‌ی جنوب باختری سرخ‌کوه از نظر زمین‌شناسی در مجموعه‌ی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی ترشیاری بلوک لوت واقع شده است. نفوذ توده بیوتیت مونزونیت به درون سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازالت و آندزیت باعث دگرسانی وسیع کوارتز- سریسیت- پیریت و آرژیلیک و نیز کانی‌سازی در منطقه شده است. فاز نهایی ماگماتیسم در بخش‌های مرکزی منطقه دارای ترکیب بیشتر دیوریت و کانی‌سازی پراکنده دانه است. دگرسانی غالب در توده‌های دیوریتی، دگرسانی پروپیلیتیک و کربناتی است. بر مبنای شواهد صحرایی، و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بررسی‌های سنگ‌نگاری و XRD دگرسانی‌های پروپیلیتیک، آرژیلیک، کوارتز- سریسیت- پیریت، سیلیسی، کربناتی در منطقه شناسایی شدند و سطح فرسایشی احتمالی منطقه بخش بالایی دگرسانی کوارتز- سریسیت- پیریت تعیین شد. کانی‌سازی اولیه در منطقه به‌شکل‌های پراکنده دانه و رگچه‌ای است. در بخش‌های شمالی منطقه نیز، راهیابی محلول‌های کانه‌دار از منطقه‌ی گسلی، موجب تشکیل کانی‌سازی رگه‌ای مس شد که نشانه ورود محلول کانه‌دار به گسل‌ها در اثر گرما و فشار است. بررسی‌های ژئوشیمیایی به دو روش رسوب‌های آبراهه‌ای و ژئوشیمی خرده‌سنگی، ناهنجاری عناصری نظیر مس، مولیبدن، طلا، آرسنیک، سرب و روی را در منطقه نشان می‌دهد. به‌طور کلی شواهد زمین‌شناختی، دگرسانی و کانی‌سازی‌های یاد شده همخوانی خوبی با کانی-سازی مس پورفیری نشان می‌دهند.

چنانکه اشاره شد بلوک لوت در خاور ایران به دلیل موقعیت زمین ساختی زون فرورانش متشکل از سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نیمه‌عمیق و عمیق متعدد بوده که پتانسیل مناسب برای کانی‌سازی از نوع پورفیری و وراگرمایی را دارند. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مناطق مجاور نظیر کانسارهای مس پورفیری خوپیک [۱۱]، ماهرآباد [۱۱]، ده‌سلم [۱۲] و طلای وراگرما نظیر چاه‌شلجمی [۱۲] و کوه‌شاه [۱۳] ، منطقه جنوب باختری سرخ کوه نیز دارای موقعیت زمین ساختی مشابه با این کانسارهاست. همچنین سن فلززایی در بلوک لوت نیز در بازه‌ی زمانی ۴۲ تا ۳۳ میلیون [۱۰] بوده که با سن نسبی توده‌های نفوذی در منطقه (ائوسن) [۱۵] همخوانی دارد.

با وجود تمامی شواهد یاد شده و همخوانی منطقه با کانی-سازی مس پورفیری، این منطقه نیازمند بررسی‌های پی‌جویی تفصیلی بیشتر برای اثبات مدل کانی‌سازی است. این بررسی‌ها شامل بررسی‌هایی از قبیل ژئوفیزیک، بررسی‌های ایزوتوپی و بررسی‌های شاره‌های درگیر بوده که در دست اقدام است. حفاری‌های عمیق نیز به‌دلیل دگرسانی شدید در سطح زمین، اطلاعات مفیدی از چگونگی کانی‌سازی و زون‌های دگرسان در عمق مشخص می‌نماید.

مراجع

[۱] آقانباتی ع.، *"زمین‌شناسی ایران"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳) ۵۸۳ ص.

[2] Dercourt J., Zonenshain L.P., Ricou L.E., Kazmin V.G., Le Pichon X., Knipper A.L., Grandjacquet C., Sbortshikov I.M., Geyssant J., Lepvrier C., Pechersky, D.H., Boulin, J., Sibuet J.C., Savostin L.A., Sorokhtin O., Westphal M., Bazhenov M.L., Lauer J.P., and Biju-Duval B., *"Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamir's since the LIAS"*, Tectonophysics, v. 123 (1986) 241–315.

[3] Hooper R.J., Baron I., Hatcher R.D., Agah S., *"The development of the southern Tethyan margin in Iran after the break-up of Gondwana implications for the Zagros hydrocarbon province"*: Geoscience (Geological Survey of Iran), v. 4 (1994) 72–85.

[4] Scotese C.R., *"Digital Paleogeographic Map Archive on CD-ROM, PALEOMAP Project"*, Arlington, Texas (2001).

[5] Camp V., Griffis R., *"Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran"*, Lithous, Issn 0024-4937, v 15 (1982) 221-239.

[6] Tirrul R., Bell I. R., Griffis R. J., Camp V. E., *"The Sistan suture zone of eastern iran"*, Geolc. Soc. Am. Bull 94, (1983) 134-156.

[7] Jung D., Keller J., Khorasani R., Marcks C., Baumann A., and Horn P., *"Petrology of the Tertiary magmatic activity in the northern Lut area, east Iran":* Neues Jahrbuch fuer Geologie

und Paläontologie, Abhandlungen, v. 168 (1984) 417–467.

[8] Arjmandzadeh R., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., Santos J.F., Medina J.M., Homam S.M., *"Two-sided asymmetric subduction; implications for tectonomagmatic and metallogenic evolution of the Lut Block, eastern Iran",* Journal of Economic Geology, Ferdowsi University of Mashhad, No. 1, Vol 3 (2011) 1-14.

[9] Karimpour M. H., Stern C. R., Farmer L., Saadat S., Malekezadeh A., *"Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran"*, JGeope 1 (1) (2011) 19-36.

[۱۰] کریم‌پور م.ح.، ملکزاده شفارودی الف.، فارمر ل.، استرن چ.، *"پتروژنز گرانیتوئیدها، سن‌سنجی زیرکن به روش U-Pb، ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیاری در بلوک لوت، شرق ایران"*، مجله زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۱، جلد ۴ (۱۳۹۱) ۲۷ ص.

[۱۱] ملک زاده شفارودی الف.، *"زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشاء کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خوپیک، استان خراسان جنوبی"*، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۸) ۶۰۰ ص.

[۱۲] ارجمندزاده ر.، *"مطالعات کانی‌سازی، ژئوشیمی و تعیین جایگاه تکتونوماگمایی توده‌های نفوذی در اندیس معدنی ده-سلم و چاه شلجمی، بلوک لوت، شرق ایران"*، رساله دکتری (Ph.D) زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۹۰) ۳۶۹ ص.

[۱۳] عبدی م.، و کریم‌پور م.ح.، *"زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه-زایی، پتروژنز، سن‌سنجی و ژئوفیزیک هوابرد منطقه اکتشافی کوه‌شاه، جنوب غرب بیرجند"*، مجله زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۱، جلد ۴ (۱۳۹۱) ۳۲ ص.

[14] Kluyver H. M., "*Geological map of Naybandan sheet, scale 1:250000*" (1981).

[۱۵] بلوریان ق.، و واحدی الف.، *"نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جنوب سه چنگی"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور (۱۳۸۳).

[۱۶] سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، *"گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در محدوده برگه ۱/۱۰۰۰۰۰ سه‌چنگی"* (۱۳۸۲) ۱۳۷ ص.

[17] Yang C., Everett J. H., Bradford J. M., *"Yield estimation from hyperspectral imagery using spectral angle mapper (SAM)".* American Society of Agricultural and Biological Engineers, V. 51(2) (2008) 729-737.

[18] Rowan L. C., Hook S. J., Abrams M. J., Mars J. C., *"Mapping hydrothermally altered rocks at Cuprite, Nevada, using the Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), A new satellite imaging system"*, Economic Geology, v 98, no 5, (2003) 1019-1027.

[19] Hubbard B. E., Rowan L. C., Dusel-Bacon C., Eppinger R. G., *"Geologic Mapping and Mineral Resource Assessment of the Healy and Talkeetna Mountains Quadrangles, Alaska Using Minimal Cloud- and Snow-Cover ASTER Data. USGS Open- File Report",* (2007) 1046.

[20] Whitney D. L., Evans B. W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals",* American Mineralogist, Volume 95 (2010) 185–187.